

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920121152747

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于变倍率均衡充电技术的
锂离子电池管理系统研究

BMS for Power Lithium-ion Batteries Based on
Variable Rate Equalization Charging Technology

梁 恺

指导教师姓名: 陈文芾 教授

专 业 名 称: 精密仪器及机械

论文提交日期: 2015 年 4 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 04 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

能源短缺和环境污染是当今世界所面临的两大难题。如今,节能和环保已成为世界汽车工业发展的主题,因此开展新能源汽车的研究刻不容缓。电动汽车以具有零排放,低噪音等优点,越来越受到世界各国的关注。电动汽车的动力源于动力电池组,电池组的整体性能和使用寿命关系到电动汽车的性能,作为电动汽车发展的关键技术之一的电池管理系统(BMS),是电动汽车产业的研究重点。

动力电池组的不一致性会导致电池组性能大幅下降,因此,通过研究降低动力电池组不一致性的方法来提高电池组使用效率和使用寿命具有重要意义。

本文首先介绍了国内外电动汽车电池管理系统研究的发展现状和均衡充电技术的研究现状,紧接着介绍了锂离子电池的工作原理、基本参数、充放电特性以及锂离子电池的几种充电方法,然后分析了动力锂离子电池组的不一致性及其危害,并提出一种变倍率均衡充电方案,基于该方案设计了电池管理系统的均衡控制策略,该均衡控制策略为:在充电过程中,除了使用主恒流对锂离子电池进行充电以外,还使用辅助充电电流对电池组中电压最低的单体电池进行均衡充电,通过该充电方法能够有效减小串联锂离子电池组中各单体电池之间的不一致性。

在此基础上,文章系统性地介绍了动力锂离子电池管理系统中的各个子模块的硬件设计,包括电池管理模块设计、电池信息采集模块设计、均衡控制模块设计、主恒流充电模块设计、均衡充电模块设计以及人机界面设计。然后再对系统的软件设计进行了介绍,包括软件系统总体设计、电池组信息采集模块软件设计、液晶显示模块软件设计、采集参数处理模块软件设计、均衡控制模块软件设计以及软件可靠性分析。

最后,制作出了该电池管理系统样机,并对某型号 8 串动力锂离子电池组进行充电实验。实验表明了基于本文提出的变倍率均衡充电方案的电池管理系统能够很有效地执行充电并减小串联锂离子电池组中各单体电池之间的不一致性。

关键词: 动力电池组 变倍率充电 均衡充电

Abstract

Energy shortage and environmental pollution are two critical problems in the world today. Nowadays, energy saving and environmental protection has become the theme of the worldwide automobile industry development; as a result, the research about the new energy vehicles is urgently needed. Electric vehicles with advantages of zero emissions and low noise are attracting more and more attention from all over the world. Energy of the electric vehicles comes from the power battery pack, the overall performance and service life of the power battery pack is related to the performance of electric vehicles. Therefore, as a key technology of the electric vehicle development, battery management system (BMS) is a research emphasis of the electric vehicle industry.

The inconsistency of the power battery pack will worsen the performance of the battery pack, as a result, by studying the method to reduce the inconsistency of the power batteries so to improve the efficiency of the battery pack and its service life is of great significance.

This paper first introduces the current development of electric vehicle battery management system research at home and abroad, and the research status of equalized charging technology, then introduces the working principle, basic parameters, charging and discharging characteristics of lithium-ion battery, and several methods to charge the lithium-ion battery. This paper then analyzes the inconsistency of lithium-ion battery pack and the relating damage, and provides a kind of convertible equalized charging strategy, based on which a control strategy of equalization program for the battery management system is designed. The equalization controlling strategy is: in the process of charging, in addition to using the main constant current for lithium-ion battery charging, use assistant charging current to charge the single battery with the lowest voltage simultaneously. Through this charging method, the inconsistency among each single battery in the battery pack will be effectively reduced.

On this basis, this paper systematically introduces the hardware design of each module in the power lithium-ion battery management system, including the design of the battery management module, the batteries' information collecting module, the equalization control module, the main charging module, the equalization charging module and the human-computer interface. This paper then introduces the software design of the system, including the overall design of the system software, and the software design of the batteries' information collecting module, the LCD module, the data analysis and processing module, the equalization control module, followed with software reliability analysis.

In the end, the prototype of the battery management system has been produced; it has been used to conduct charging experiments for lithium-ion battery pack, which includes 8 single batteries. Experiments suggest that based on the convertible equalization charging program provided by this paper, the battery management system is able to effectively reduce inconsistency among single batteries in the power lithium-ion battery pack.

Key Words: Power Battery Pack; Variable Rate Charging; Equalization Charging.

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 电池管理系统及均衡充电技术的研究现状	2
1.2.1 电动汽车动力电池概述	2
1.2.2 国内外电池管理系统的研究现状	3
1.2.3 均衡充电技术的研究现状	4
1.3 本课题的主要研究内容	4
第二章 锂离子电池特性及其充电方法	6
2.1 锂离子电池的工作原理及基本参数	6
2.1.1 锂离子电池的基本工作原理	6
2.1.2 锂离子电池的基本参数	7
2.2 锂离子电池的充放电特性及充电方法	9
2.2.1 锂离子电池的充放电特性	9
2.2.2 锂离子电池的充电方法	11
2.3 几种充电方法的对比	13
2.4 本章小结	14
第三章 均衡方案设计	15
3.1 电池组中各单体电池之间的不一致性及其危害	15
3.2 几种均衡方案	16
3.2.1 能量耗散型均衡方案	17
3.2.2 能量非耗散型均衡方案	17
3.3 变倍率均衡充电方案	21
3.4 均衡控制策略	23
3.5 本章小结	25
第四章 系统硬件设计	26

4.1 电池管理模块	26
4.1.1 系统微处理器的选取.....	26
4.1.2 微处理器电路.....	27
4.1.3 微处理器供电电路.....	29
4.2 电池组信息采集模块	31
4.2.1 电压信号采集模块.....	32
4.2.2 电流信号采集模块.....	35
4.2.3 温度采集模块.....	37
4.3 均衡控制模块	38
4.4 主恒流充电模块	40
4.5 均衡充电模块	41
4.5.1 均衡充电模块工作原理.....	41
4.5.2 均衡充电模块硬件电路.....	43
4.6 人机界面	48
4.7 本章小结	50
第五章 系统软件设计	51
5.1 系统软件开发环境简介.....	51
5.2 系统软件总体设计.....	52
5.3 电池组信息采集模块软件设计.....	53
5.3.1 电压采集子程序.....	53
5.3.2 电流采集子程序.....	54
5.3.3 温度采集子程序.....	55
5.4 液晶显示模块软件设计.....	57
5.5 数据分析处理模块软件设计.....	58
5.5.1 滤波算法.....	58
5.5.2 数据分析.....	59
5.6 均衡控制模块软件设计.....	60
5.7 软件可靠性设计.....	61
5.8 本章小结.....	62

第六章 系统的调试与测试	63
6.1 系统各模块调试	64
6.1.1 系统调试平台简介	65
6.1.2 电压采集模块调试	65
6.1.2.1 实验设计	65
6.1.2.2 实验结果	66
6.1.3 温度采集模块调试	68
6.1.3.1 实验设计	68
6.1.3.2 实验结果	69
6.1.4 均衡充电模块调试	70
6.1.4.1 实验设计	70
6.1.4.2 实验结果	71
6.1.5 故障警报及电路保护功能测试	71
6.1.5.1 实验设计	71
6.1.5.2 实验结果	73
6.2 电池管理系统整体调试	74
6.3 系统调试总结	76
6.4 本章小结	77
第七章 总结与展望	78
7.1 总结	78
7.2 展望	78
参 考 文 献	80
致 谢	84
硕士期间科研成果	85

Content

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background and Significance	1
1.2 Research Status of BMS and Equalization Charging Technology	2
1.2.1 Introduction of the Electric Vehicles' Battery	2
1.2.2 Research Status of BMS	3
1.2.3 Research Status of Equalization Charging Technology	4
1.3 The Contents of this Paper	4
Chapter 2 Characteristics and Charging Method of Lithium-ion Battery.....	6
2.1 Working Principle and Basic Parameters of Lithium-ion Battery	6
2.1.1 Basic Working Principle of Lithium-ion Battery	6
2.1.2 Basic Parameters of Lithium-ion Battery	7
2.2 Charging and Discharging Characteristics of Lithium-ion Battery and Charging Method of Lithium-ion Battery.....	9
2.2.1 Charging and Discharging Characteristics of Lithium-ion Battery	9
2.2.2 Charging Method of Lithium-ion Battery	11
2.3 Advantages and Disadvantages of Various Charging Method	13
2.4 Summary	14
Chapter 3 Equalization Program Design	15
3.1 Inconsistency of Power Lithium-ion Batteries and Its Damage.....	15
3.2 Typical Equalization Program	16
3.2.1 Passive Balancing Equalization Program	17
3.2.2 Active Balancing Equalization Program	17
3.3 Variable Rate Equalization Charging Program	21
3.4 Control Strategy of Equalization Program	23

3.5 Summary	25
Chapter 4 Hardware Design of the System	26
4.1 Battery Management Module.....	26
4.1.1 Microprocessor Selection.....	26
4.1.2 Microprocessor Circuit	27
4.1.3 Power Circuit for Microprocessor	29
4.2 Batteries' Information Collecting Module	31
4.2.1 Voltage Collecting Module	31
4.2.2 Current Collecting Module	35
4.2.3 Temperature Collecting Module	37
4.3 Equalization Control Module.....	38
4.4 Main Charging Module.....	40
4.5 Equalization Charging Module.....	41
4.5.1 Working Principle of Equalization Charging Module	41
4.5.2 Equalization Charging Module Circuit.....	43
4.6 Human-computer Interface.....	48
4.7 Summary	50
Chapter 5 Software Design of the System	51
5.1 System Software Development Environment Description.....	51
5.2 Overall Design of System Software.....	52
5.3 Software Design of Batteries' Information Collecting Module	53
5.3.1 Software Design of Voltage Collecting Module	53
5.3.2 Software Design of Current Collecting Module	54
5.3.3 Software Design of Temperature Collecting Module	55
5.4 Software Design of LCD Module	57
5.5 Software Design of Data Analysis and Processing Module.....	58
5.5.1 Filtering Algorithm	58
5.5.2 Data Analysis	59
5.6 Software Design of Equalization Control Module.....	60

5.7 Reliability Design of Software	61
5.8 Summary	62
Chapter 6 System Debugging and Testing.....	63
6.1 Module Debugging	64
6.1.1 Introduction of the System Debugging Platform	65
6.1.2 Voltage Collecting Module Debugging.....	65
6.1.2.1 Experiment Design.....	65
6.1.2.2 Experimental Results	66
6.1.3 Temperature Collecting Module Debugging.....	68
6.1.3.1 Experiment Design.....	68
6.1.3.2 Experimental Results	69
6.1.4 Equalization Charging Module Debugging	70
6.1.4.1 Experiment Design.....	70
6.1.4.2 Experimental Results	71
6.1.5 Fault Warning and Circuit Protection Function Testing.....	72
6.1.5.1 Experiment Design.....	72
6.1.5.2 Experimental Results	73
6.2 The Overall Debugging of Battery Management System	74
6.3 Summary of System Debugging	76
6.4 Summary	77
Chapter 7 Summary and Outlook.....	78
7.1 Summary	78
7.2 Outlook	78
References	80
Acknowledgements	84
Scientific Achievements during Master	85

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

汽车工业在 19 世纪末至今蓬勃发展, 各国汽车保有量持续上升, 越来越多的家庭拥有私人汽车。据公安部统计截至 2014 年 11 月 27 日, 我国机动车驾驶人数量已超过 3 亿人, 全国民用机动车保有量达 2.64 亿辆, 驾驶人数量位居世界第一, 汽车数量仅次于美国, 居世界第二位。汽车给人们的日常出行带来了许多便利, 同时也引起了严重的环境问题和能源问题。汽车排放的尾气中含有大量的一氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物、金属铅和固体悬浮颗粒, 这些有害成分将会引起人类的健康问题, 并且影响大气环境的质量^[1]。据海关统计, 2012 年汽车燃料消耗量达到了我国燃料总消耗量的 55%, 由此推算至 2020 年汽车燃料消耗量将达到 3.05 亿吨, 车用燃油将成为我国新增燃油消耗的主体^[2]。近几年, 国内许多城市屡次发生车用燃油供应紧张和油价上涨的情况。人类已经意识到了环境污染问题和能源紧缺问题的严重性, 并已开始研究有效的应对措施。

使用电动汽车代替传统汽车不仅可以减少有害气体的排放, 而且能够有效地缓解石油短缺的危机, 可以有效地缓解当今世界所面临的环境污染问题和能源紧缺问题, 受到了越来越多的重视。目前电动汽车的分类有三种, 分别为: 纯电动汽车 (PEV, Pure Electric Vehicle)、混合动力电动汽车 (HEV, Hybrid Electric Vehicle) 和燃料电池电动汽车 (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle)^{[3][4]}。纯电动汽车的动力完全来自于二次电池; 混合动力电动汽车的动力来自于内燃机和电动机的协调配合输出; 燃料电池电动汽车的动力来自于燃料电池中的氢气与大气中的氧气反应所放出的能量; 其中纯电动汽车和混合动力汽车的动力来源于高效率的充电电池, 与传统内燃机汽车相比, 具有污染少、噪声低、能源转换效率高、能源多样化的优点, 而且电动汽车的结构组成比传统汽车更加简单, 具有更好的操控性和维护便利性^[5]。因此世界各国的知名汽车公司关注到了电动汽车领域的发展前景, 并已开始研发各自品牌旗下的电动汽车。

电动汽车的动力来自于动力电池, 动力电池将电池内部储存的化学能转化为电能, 再将电能输出用于驱动电动机, 电动机则将动力电池输出的电能转换为机

械能，用于驱动电动汽车。因此，动力电池的安全性、稳定性、可靠性、续航能力、便携性直接影响了电动汽车的性能，是电动车产业研究的重点^[6]。电动汽车动力电池组中各单体电池之间存在不一致性，该特征会导致动力电池组的使用寿命短于单体电池的使用寿命。在动力电池组充电过程中，如果某些单体电池出现故障，将导致整个动力电池组的性能急剧下降，最终报废。由此可见，动力电池组的使用寿命由动力电池组中性能最差的单体电池决定。因此，通过研究减小动力电池组中各单体电池之间不一致性的方法来延长动力电池组的使用寿命，对电动汽车的发展具有十分重要的意义。

1.2 电池管理系统及均衡充电技术的研究现状

1.2.1 电动汽车动力电池概述

电动汽车的动力来自于汽车内部的动力电池组，电动汽车的最大时速和最大行驶路程取决于动力电池组的功率密度和能量密度，该两项指标的值越大，电动汽车的最大时速和最大行驶路程越大。因此，电动汽车中的动力电池需要具备以下特性：比能量($W \cdot h / kg$)和比功率(W / kg)高；能量密度($W \cdot h / L$)和功率密度(W / L)高；快速充电和深度放电能力好；充放电效率高；循环使用次数多；使用寿命长；安全可靠、成本低等。目前，应用于电动汽车的动力电池主要有铅酸电池、镍氢电池、镍镉电池、锂离子电池等^[7]。以上提到的各种动力电池的性能指标如表 1.1 所示^{[8][9]}。

表 1.1 电动汽车用动力电池

电池类型	比能量 ($W \cdot h / kg$)	比功率 (W / kg)	能量密度 ($W \cdot h / L$)	功率密度 (W / L)	循环寿命 (次)
铅酸电池	35	130	90	500	400—600
镍氢电池	80	225	143	470	1000 以上
镍镉电池	55	170	94	278	500 以上
锂离子电池	100	200	215	778	1200 以上

对比表1.1中的数据可知，锂离子电池与其它三种动力电池相比具有以下优

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.